

**Eine Methode zur fortlaufenden
Messung der quantitativen
Veränderungen
des Lungenblutvolumens
beim Menschen**

Kurt Fleischer

1962



Digitized by the Internet Archive
in 2026

AUS DER
MEDIZINISCHEN POLIKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Prof. Dr. W. Seitz

**Eine Methode zur fortlaufenden
Messung der quantitativen
Veränderungen
des Lungenblutvolumens
beim Menschen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Kurt Fleischer
aus Biberach a. d. Riss

München 1962

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Priv. Doz. Dr. H. HESS
Correferent: Prof. Dr. W. SEITZ
Dekan: Prof. Dr. W. SEITZ

Tag der mündlichen Prüfung: 6.2.1962



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. EINLEITUNG	5
Methode von Stewart-Hamilton	5
Methode von Newman	6
Methode von Bradley	6
Methode von Lammerant	7
B. RÖNTGENOLOGISCHE DICHTMESSUNG DER LUNGE	8
Versuchsanordnung	8
Erklärung einer Dichtekurve	10
Quantitative Dichtemessung in einem Lungenzylinder	10
C. BESTIMMUNG DER LUNGENGROSSE	11
Äussere Thoraxmessung und Messung des Atemvolumens	12
Messung des rö. Thoraxvolumens und des Atemvolumens	13
Versuchsablauf und Auswertung	14
Ergebnis der Versuchsreihe	15
Berechnung der Lungengrösse für die Durchblutungsmessung	16
D. FORTLAUFENDE MESSUNG DER QUANTITATIVEN VERÄNDERUNGEN DES LUNGENBLUTVOLUMENS UNTER WIRKUNG KREISLAUFAKTIVER MEDIKAMENTE UND STATISCHER MASSNAHMEN	17
Veränderung des Lungenblutvolumens durch Sympatol	17
Veränderung des Lungenblutvolumens durch Ecolid	21
Veränderung des Lungenblutvolumens durch Stauung und Lageände- rung der Beine	22
Tabellarische Übersicht der Versuche	27
E. DISKUSSION	27
F. ZUSAMMENFASSUNG	29
G. LITERATURVERZEICHNIS	31
H. LEBENSLAUF	34

A. EINLEITUNG

Die Beobachtung, dass zwei jugendliche Patienten mit Lungenentzündung bzw. Barbitursäurevergiftung unmittelbar nach der Injektion eines Kreislaufmittels aus der Adrenalinreihe an einem akuten Lungenödem starben, liess die Vermutung aufkommen, dass dieses in beiden Fällen nicht allein durch eine plötzliche Linksinsuffizienz des Herzens zustande kam, sondern dass die medikamentöse Behandlung das Blutvolumen der Lunge direkt akut vermehrt hat.

Dieser Verdacht würde mit den Direktbeobachtungen REINHARDT's an der Lunge des lebenden Kaninchens übereinstimmen, der auf Adrenalininjektion nach vorausgehender kurzer Anämie eine peristatische Hyperämie sah, die bei entsprechend hoher Dosierung oder durch Wiederholung der Adrenalininjektion bis zur Stase und Liquordiapese gesteigert werden konnte.

Um nun die Wirkung kreislaufaktiver Medikamente und anderer Massnahmen auf die Durchblutung der Lunge zu untersuchen, suchte H. HESS nach einer Methode, mit der es möglich ist, die Veränderungen des Lungenblutvolumens einschliesslich der Lymphe am Menschen über längere Zeit und ohne grosse Belästigung für den Patienten quantitativ zu messen.

Die ältesten Messungen des Blutvolumens der Lunge begannen vor etwa 75 Jahren am Tier. Diese wurden nach der Technik von Welcker ausgeführt, die darin bestand, dass man gleichzeitig Lungenarterien und Lungenvenen unterband und danach das Blut aus den Gefässen auswusch. Die eigentliche Blutmenge wurde dann aus dem Hämoglobingehalt des normalen Blutes und der Waschflüssigkeit der Lungen berechnet (MENICANTI, 1894; HÉGER und SPEHL, 1881; PLUMIER, 1904; SPEHL und DESGUIN, 1909; KUNO, 1917; DE BURGH DALY, 1938).

Am lebenden Menschen werden heute Farbstoffverdünnungsmethoden (Dye dilution methods) und neuerdings auch radioaktive Isotope zur Messung des Lungenblutvolumens verwendet.

Im folgenden seien die Methoden von STEWART-HAMILTON, NEWMAN, BRADLEY und LAMMERANT kurz beschrieben.

METHODE VON STEWART-HAMILTON

Bei der Methode von Stewart-Hamilton (STEWART, 1921 b; HAMILTON und Mitarb., 1928, 1930, 1932) wird das Lungenblutvolumen V aus dem Schlagvolumen S und der Lungenzirkulationszeit T nach der Formel

$$V = S \cdot T$$

berechnet. Das Schlagvolumen wird entweder mit der direkten Methode nach Fick oder mittels einer Farbstoffverdünnungsmethode (Stewart-Hamilton) bestimmt. Das letztere Verfahren wird bevorzugt, weil mit ihm gleichzeitig bequem die mittlere Kreislaufzeit bzw. Lungenzirkulationszeit T gemessen werden kann. Im Idealfall müsste der Farbstoff durch einen Herzkatheter in die Arteria pulmonalis eingespritzt und sein Erscheinen im linken Vorhof mit einem zweiten Katheder regi-

striert werden. Da die Herzkatheterisierung -vor allem die des linken Herzens- mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist, wird der Farbstoff meistens in eine Kubitalvene injiziert, und werden die Blutproben aus der Brachialarterie des anderen Armes entnommen. Die auf diese Art mitgemessenen extrapulmonären Blutmengen und die verlängerten Kreislaufzeiten müssen in der obigen Formel rechnerisch mitberücksichtigt werden.

Um diese störenden Blutmengen zu verringern, wird von einigen Autoren (J.T.DOYLE und Mitarb., 1953) der Farbstoff mit einem Katheter in die Pulmonalarterie injiziert und für die Blutentnahme die Brachialarterie oder Femoralarterie punktiert. Die gebräuchlichsten Farbstoffe sind heute T 1824 = Evans Blue, Brillant Vital Red. oder Fox Green.

METHODE VON NEWMAN

Newman (NEWMAN und Mitarb., 1951; PEARCE und Mitarb., 1953) und seine Mitarbeiter injizieren einen Farbstoff und messen die Veränderungen seiner Konzentration nach Durchströmen der Lunge. Das Lungenblutvolumen V wird dann aus dem Schlagvolumen S und der Steigung P des abfallenden Teiles der Konzentrationskurve nach der Gleichung

$$V = S / P$$

bestimmt. Bei der Injektion des Farbstoffes und der Blutentnahme verfährt man wie bei der Methode von Hamilton.

METHODE VON BRADLEY

Eine weitere Farbstoffmethode wurde 1953 von Bradley angegeben: Ihr Grundgedanke ist, dass man, wenn die Menge eines injizierten Farbstoffes Q und seine Konzentration cf nach vollkommener Durchmischung im Blut bekannt ist, die totale Blutmenge M nach der Formel

$$M = Q / cf$$

berechnen kann. Wendet man diese Formel für die Lunge an, so folgt für das Lungenblutvolumen:

$$V = Q / cf$$

Q wird nach der Formel

$$Q = S \cdot t \cdot (Cm E - Cm A)$$

berechnet, wobei

S = Schlagvolumen,

t = Zirkulationszeit in der Lunge,

Cm E = mittlere Konzentration des Farbstoffes vor Eintritt in die Lunge,

Cm A = mittlere Konzentration des Farbstoffes nach Austritt aus der Lunge ist.

Da die Katheterisierung des linken Vorhofs äusserst schwierig ist, muss man sich auch hier mit der Katheterisierung des rechten Ventrikels zur Bestimmung von Cm E und der Brachialarterie zur Bestimmung des Cm A oder nur der Punktion einer Kubitalvene und Brachialarterie begnügen.

METHODE VON LAMMERANT

Nachdem seit 1948 radioaktive Isotopen zur Bestimmung von Kreislaufzeiten angewandt wurden, hat J.Lammerant (1957) dieses Verfahren auch zur Bestimmung des Blutvolumens der Lunge ausgearbeitet.

Ein Geigerzähler wird vor der vorderen Thoraxwand in der Achse, Mitte re. Ventrikel - Mitte lk. Herzhohr, aufgestellt. Nachdem in eine Armvene 1 ml menschliches Albumin injiziert wurde, das mit radioaktivem J - 131 (75 Mikrocurie) markiert war, werden die Impulse beim Durchlaufen des Testserums über dem re. Herzen und dann über dem lk. Herzen graphisch festgehalten. Es entsteht eine Kurve mit 2 Hauptgipfeln, deren Höhe dem Grad der jeweiligen Verdünnung und deren Abstand von einander der Lungenzirkulationszeit entspricht. Aus dem nachfolgenden Plateau der Kurve lässt sich das Gesamtblutvolumen bestimmen. Die Berechnung der Messwerte erfolgt im Prinzip nach der Methode von STEWART-HAMILTON.

Von den Farbstoffverdünnungsmethoden hat sich zur Bestimmung des Blutvolumens der Lunge nur die Methode von STEWART-HAMILTON einigermaßen durchsetzen können. Ihre Werte stimmen mit denen der direkten Fickschen Methode annähernd überein (J.T.DOYLE und Mitarb., 1953; T.H.LI und Mitarb., 1953), während die Ergebnisse mit den Methoden von NEWMAN und BRADLEY nicht von allen Forschern bestätigt werden konnten (HOFFMAN und SHILLINGFORD, 1957; BRAUNWALD, COURNAND und FISHMAN, 1955).

Die Anwendung der Methode von LAMMERANT ist durch die Radioaktivität und die Erforderung kostspieliger Messgeräte begrenzt, auch bereitet die rechnerische Auswertung Schwierigkeiten.

Die obigen Methoden stellen alle, wenn man nicht auf den Herzkatheter, der zu genauen Messungen nötig ist, verzichtet, eine erhebliche Belastung des Patienten dar. Auch ergibt eine einmalige Messung immer nur Werte für eine einzelne Kreislafsituation.

Eine ununterbrochene Messung der Änderungen der Lungendurchblutung ist mit allen diesen Methoden nicht möglich.

B. RÖNTGENOLOGISCHE DICHTEMESSUNG DER LUNGE

Verändert sich in den Lungen die Gesamtflüssigkeit, so nimmt die Röntgenstrahlendurchlässigkeit entsprechend zu oder ab. Von diesem Gedanken ausgehend entwickelte H. HESS eine Methode bei der man durch fortlaufende Dichtemessungen der Lungen die Veränderung ihrer Flüssigkeitsmenge registrieren kann. Die Strahlendurchlässigkeit ist aber noch von einem zweiten Faktor bestimmt, den respiratorischen Volumenschwankungen der Lungen. Bei Inspiration ist die Strahlendurchlässigkeit erhöht, während sie sich bei der expiratorischen Volumenverkleinerung der Lunge vermindert.

Mit Hilfe einer Fotozelle mit Sekundärelektronenvervielfacher werden die Veränderungen der Röntgenstrahlendurchlässigkeit in einem unteren Lungenfeld in entsprechende elektrische Spannungsschwankungen umgesetzt. Wenn diese mit Gleichspannungsregistriervorrichtung laufend aufgeschrieben werden, dann zeigen die Kurven nicht nur die frequenten rhythmischen Dichteschwankungen durch die Atmung und den Puls an, sondern auch, die allmählichen Änderungen der Dichte durch eine Zu- oder Abnahme des Gesamtflüssigkeitsgehaltes der Lungen.

VERSUCHSANORDNUNG

Zur Messung der Dichteschwankungen der Lungen wurde von uns der Elektrokymograph nach Prof. Heckmann - Ing. Knott verwendet (Type EKY - AHM, F. Schwarzer G. m. b. H. München-Pasing), als Schreiber stand uns ein Einfachschreiber (Enograph - G. Type ZSG. BN 18531/4, Rohde und Schwarz) zur Verfügung.

Der Patient steht oder liegt im normalen Durchleuchtungsapparat, nur dass zwischen ihm und Leuchtschirm das Aufnahmegerät A mit Saugpfropfen an der Hinterwand des Schirmes L befestigt ist, das die Fotozelle enthält. Die verwendete Fotozelle hat eine Flächengröße von 2,5 qcm. Sie wird am völlig ruhig liegenden oder stehenden Patienten auf einen vorderen Zwischenrippenraum des zu untersuchenden Lungenfeldes so eingestellt, dass die Rippen bei der Untersuchung nicht stören.

Abbildung 1 (s. S. 9) zeigt schematisch das Arbeitsprinzip der Apparatur. Die Röntgenstrahlen werden durch das Filter B 1 zu einem kleinen Bündel abgeblendet, das den Körper O durchdringt und auf den Leuchtschirm L fällt. Zwischen beiden befindet sich das Aufnahmegerät A, das die Fotozelle mit Sekundärelektronenvervielfacher (Multiplier 1 P 21) enthält, diese Fotozelle ist an der dem Patienten zugewandten Seite mit einer 2,5 qcm grossen Blende B 2 aus Blei versehen. Die den Körper durchsetzenden Röntgenstrahlen fallen durch die Blende auf einen kleinen Leuchtschirm, dessen Licht unmittelbar auf die Fotokathode einwirkt. Die Speisung der Fotozelle mit Vervielfachereinrichtung erfolgt mit Hochspannung aus dem Netzgerät N. Das Aufnahmegerät A ist mit einer besonderen Vorrichtung ausgestattet, die es ermöglicht, die Blende B 2 jeweils genau in den Zwischenrippenraum einzustellen. Diese Blendeneinstellung wird auf dem Leuchtschirm beobachtet. Erst

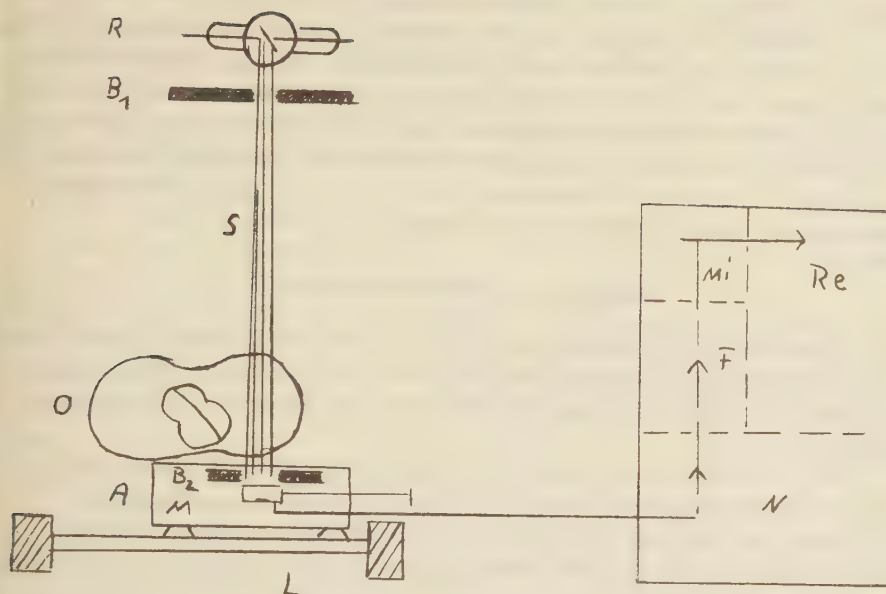


ABBILDUNG 1

- R - Röntgenröhre
- B 1 - Blende der Röntgenröhre
- S - Strahlenbündel
- O - Organismus
- L - Leuchtschirm
- M - Multiplier
- A - Aufnahmegerät
- B 2 - Blende mit Schlitz für Fotozelle
- N - Netzgerät
- F - Filter
- Mi - Mischgerät
- Re - Registriergerät

nach richtiger Einstellung wird die Fotozelle durch Betätigung des Einstellknopfes zwischen Leuchtschirm und Schlitzblende eingeschoben. Diese Einstellung ähnelt etwa einer gezielten Aufnahme bei einer Magenuntersuchung. Die vom Sekundärelektronenvervielfacher abgegebene verstärkte Fotozellenspannung wird zunächst zum Filter F geleitet, das zur Ausblendung von Störspannungen, die von der Röntgenanlage ausgehen, dient. Diese Störungen lassen sich restlos beseitigen. Über Mi gelang die Fotozellenspannung zum Registriergerät Re, das im Gegensatz zur

Elektrokymographie mit einem Gleichstromverstärker arbeitet.

Die Blende B 2 stellten wir in den Zwischenrippenraum bei normalem Durchleuchtungsstrom ein. War dies erfolgt, so wurde der Durchleuchtungsstrom sofort ausgeschaltet. Während der Versuchsdauer von 20 bis 25 Minuten arbeitete unser System mit einem Durchleuchtungsstrom von 45-50 kV und 1 mA. Da wir die Versuchsdauer auf 20 bis 25 Minuten beschränkten und gleichzeitig ein Röhrenfilter (äquivalent 1,3 mm Al) verwendeten, haben wir nach G. LEMMEL die zulässige Hautdosis von 100 r noch nicht überschritten.

ERKLÄRUNG EINER DICTEKURVE

Abb. 2 zeigt eine Dichtekurve, die wir mit der beschriebenen Versuchsanordnung erhalten haben. Ein Ausschlag nach unten bedeutet eine Dichtezunahme und ein Ausschlag nach oben eine Dichteabnahme. Eine Zacke gibt einen Atemzug wieder.

Durch die Verwendung einer Gleichspannungsregistriervorrichtung ist es gelungen, in den Kurven nicht nur die Dichteschwankungen von Atemung und Puls zu messen, sondern auch die allmählichen Änderungen der Dichte durch eine Zu- oder Abnahme des Gesamtflüssigkeitsgehaltes der Lungen. Diese Dichteveränderungen kommen in einer Niveauverschiebung der regelmässigen Ausschläge der Dichtezu- und abnahme bei Aus- und Einatmung, das heisst, einer Hebung und Senkung der Kurve insgesamt zum Ausdruck. Der Schreiber gibt die Dichteveränderungen der Lungen in einer Kurve wieder, die der Flüssigkeitszu- oder -abnahme neben den regelmässigen Dichteveränderungen von Ein- und Ausatmung der Lunge entspricht. Die Dichteveränderungen, die durch Flüssigkeitsverschiebungen in der Lunge bedingt sind, werden von einer Linie abgelesen, die man sich z.B. durch die unteren Zacken der registrierten Kurve gezogen denken kann. Diese unteren Zacken sind der Umschlagspunkt von Aus- und Einatmung, während die oberen Zacken den Umschlagspunkt von Einatmung zur Ausatmung darstellen.

QUANTITATIVE DICTEMESSUNG IN EINEM LUNGENZYLINDER

Könnte man durch irgendeine Eichung ein Mass für die registrierten Ausschläge erhalten, das uns angibt, um wieviel sich der Ausschlag bei der Verschiebung von 1 ml Flüssigkeit in diesem Zylinder verändert, so könnten wir errechnen, wieviel ml Blut -den Anteil der Lymphe können wir in den folgenden Ausführungen vernachlässigen- bei einem bestimmten Versuch in diesem "Messzylinder" hinein- oder herausgeflossen sind.

In früheren Versuchen fand H. HESS, dass Plexiglas die gleiche Dichte wie Blut hat. Schiebt man nun eine 0,4 cm dicke Plexiglasplatte vor die Fotozelle, so erhält man einen Ausschlag des Systems um so viel nach unten, der 0,4 ml Blut pro 1 qcm Grundfläche des gemessenen Zylinders entspricht; da aber ein Zylinder mit 2,5 qcm Grundfläche gemessen wird, ist dies gerade 1 ml ($2,5 \cdot 0,4$).

Der Ausschlag, den man mit einer 0,4 cm dicken Plexiglasplatte erhält,

entspricht also genau einer Flüssigkeitsveränderung von 1 ml in unserem "Messzylinder". Es wurde nun eine Vorrichtung in unser Aufnahmegerät eingebaut, mit der wir hintereinander 6 Stufen Plexiglas von je 0,4 cm Dicke vor die registrierende Fotozelle schieben können. Diese 6 Stufen entsprechen 6 ml Blut. Wenn man nun den erhaltenen Ausschlag eines Versuchs mit dem Ausschlag der Eichung in Beziehung setzt, kann man die Blutveränderungen in dem betreffenden Zylinder quantitativ berechnen.

Wir liessen bei jedem Versuch (siehe Abb.2) immer zuerst ein paar Minuten die Ruhedichtekurve schreiben, bevor wir die Eichung vornahmen, nach der letzten Stufe gingen wir jeweils wieder auf die Ausgangslage zurück. Bei jedem Versuch nahmen wir eine neue Eichung vor. Dadurch hatte die verschiedene Empfindlichkeit des Systems, die je nach der Grösse des Thoraxdurchmessers und der Dicke der Muskulatur und des Fettpolsters der einzelnen Versuchsperson schwankte, und daher unterschiedlich grosse Ausschläge des Schreibers bewirkte, überhaupt keinen Einfluss auf die quantitative Auswertung des einzelnen Versuches und dem quantitativen Vergleich der Ergebnisse aller Versuche untereinander.

Wenn man annimmt, dass sich die Dichte von Muskulatur und des Hautfettpolsters während unserer Versuche bei dem Patienten nicht ändert, wird im Einzelfall durch die Eichung die röntgenologische Absorptionsgrösse des Gewebes ausserhalb der Lunge ganz eliminiert.

Wir können jetzt die quantitative Durchblutungsänderung in einem Lungenzylinder, dessen Grösse wir kennen, messen. Hätten wir nun auch die Grösse der ganzen Lunge, so könnte man ihre Durchblutungsänderungen quantitativ bestimmen.

C. BESTIMMUNG DER LUNGENGROSSE

Im Tierexperiment wird häufig das Lungengewicht als Mass für die Lungengrösse genommen (COOK 1958). Auch beim Menschen beschränken sich die Angaben über die Lungengrösse auf statistische Arbeiten, die vom Lungengewicht an Leichen ausgehen und dieses zu anderen Körpergrössen, wie Gewicht, Grösse und Oberfläche in Beziehung setzen (ROESSLE R. und F.ROULET, 1932; COPPOLETTA J.M. und S.B.WOLBACH, 1933).

Nach Reid und Hutchinson (Rauber Kopsch 1955) beträgt das durchschnittliche Gewicht der Lungen bei Männern 1350 g und bei Frauen 960 g, nach Hoffmann 1193 g bzw. 871 g. Diese Durchschnittswerte wurden meist nur aus Wägungen von nicht mehr als 21 Lungen berechnet. Aus weiteren Wägungen der Lungen von 25 Männern und 13 Frauen bestimmten Reid und Hutchinson das Gewichtsverhältnis der Lungen zum Körpergewicht und erhielten bei Männern das Verhältnis 1 : 37 und bei Frauen 1 : 43. Weiter gaben sie für das spezifische Gewicht der gesunden Lunge 0,345 g bis 0,746 g an, bei starker Ausdehnung der Lunge soll es sogar nur 0,126 g betragen. Über spez.Gewicht und ganzes Gewicht der Lungen, das sich aus dem Verhältnis zum ganzen Körpergewicht errechnen liesse, könnte

man so die Lungengrösse errechnen. Es ist leicht zu verstehen, dass es mit den obigen Zahlen unmöglich ist, eine nur annähernd genaue Grössenbestimmung der Lungen eines lebenden Menschen zu versuchen. Das Körpergewicht selbst ist grossen Schwankungen unterworfen und die Beziehung zur Lungengrösse bei einer Einzelperson durchaus fraglich. Auch wurden die Verhältniszahlen nur mit wenigen Wägungen bestimmt. Die Bestimmung des spez. Gewichtes an einer lebenden Versuchsperson ist bis jetzt nicht möglich. Die Werte, die am Leichenmaterial gewonnen wurden, können, besonders beim spez. Gewicht, nur schlecht auf die Verhältnisse einer lebenden Versuchsperson übertragen werden.

In einer neueren Arbeit von COOK wird die Lungengrösse mit dem Lungengewicht, das aus der Körpergrösse vorhergesagt wird, mit der Residualluft und der Vitalkapazität in Beziehung gebracht, wobei aber keine Methode zur direkten Berechnung der Lungengrösse angegeben wurde.

Uns lag nun daran, eine Methode zu finden, mit der man am einzelnen Patienten mit relativ einfachen Messungen die Lungengrösse annähernd bestimmen kann.

ÄUSSERE THORAXMESSUNG UND MESSUNG DES ATEMVOLUMENS

Zuerst versuchten wir, ob es möglich ist, zwischen äusseren Thoraxmassen und dem Atemvolumen einer Person eine Beziehung zur Lungengrösse zu finden.

LUNDGAARD Chr. gab in einer Arbeit, in der er die Thoraxgrösse mit den Lungenvolumina verglich, ein einfaches Verfahren an, die Thoraxgrösse an äusseren Fixpunkten zu messen: Mit dem Beckenzirkel misst man den Anterio - posterior Durchmesser vom Ansatz der dritten Rippe am Sternum zum Dornfortsatz des Wirbels, der in der gleichen Höhe liegt. Der Querdurchmesser wird als Abstand der sechsten Rippen voneinander in der Medioaxilliarlinie gemessen. Als Höhe wird das Sternum einschl. Manubrium sterni ohne Processus xiphoideus gemessen. Das Produkt aus diesen 3 Messwerten soll als äussere Thoraxgrösse einen brauchbaren Vergleichswert geben, der in Beziehung zu den Atemvolumina gesetzt werden kann.

An 27 männlichen Patienten machten wir folgende Messungen: Wir liessen die Patienten tief inspirieren und dann den Atem anhalten. In dieser Stellung wurden sofort die 3 äusseren Thoraxmasse abgenommen, anschliessend atmete der Patient in ein Spirometer aus und musste den Atem wieder anhalten, damit der Thorax nochmals gemessen werden konnte. Die Spirometerdifferenz stellt den Unterschied des Lungenvolumens zwischen Inspirationsstellung und Expirationsstellung dar. Die äusseren Thoraxmasse wurden als messbare Grösse, die sich parallel der Atmung verändert, zu diesem Lungenvolumen in Beziehung gesetzt.

Im Einzelfall erhielten wir z.B. folgende Werte:

Thoraxmasse:	Inspiration	Expiration
A. P. Durchmesser	18,5	16
Querdurchmesser	26,5	31
Sternum	18	18
Spirometerdifferenz:	3500 ml	

Aus diesen Werten wird die Thoraxgrösse in Inspiration- und Expirationsstellung berechnet.

Man erhält: Für die Insp. 10 323 ml und für die Exsp. 7 632 ml

Nun stellten wir die Beziehung auf:

(Thoraxgrösse bei Exsp.) $\cdot y$ + Spirometerdiff. = (Thoraxgrösse bei Insp.) $\cdot y$

Mit den obigen Zahlenwerten erhält man:

$$7\,632\,y + 3\,500 = 10\,323\,y$$

$$y = 1,3$$

Die Berechnung des y in allen 27 Fällen ergab nun sehr verschiedene Werte, was dafür spricht, dass kein direkter Zusammenhang zwischen äusseren Thoraxmassen und Lungengrösse besteht. Dies ist auch verständlich, weil bei dem obigen Verfahren der Stand des Zwerchfells nicht berücksichtigt wird.

Deshalb suchten wir nach einer anderen Methode, bei der die Zwerchfellhöhe nicht vernachlässigt wird.

MESSUNG DES RÖNTGENOLOGISCHEN THORAXVOLUMENS UND DES ATEMVOLUMENS

Eine Methode, bei der das Thoraxvolumen mit Berücksichtigung des Zwerchfellstandes berechnet wird, ist die Bestimmung des "radiological chest volume" von HURTADO und FRAY.

Vom Patienten wird in einer bestimmten Atemlage eine Herzfernaufnahme (2 m) gemacht und der entsprechende A. P. Durchmesser in der gleichen Atemlage gemessen. Die Fläche der Lungenfelder, einschliesslich des Herzfeldes, wird mit einem Radplanimeter gemessen. Das Röntgenthoraxvolumen erhält man aus der Multiplikation der planimetrierten Fläche und des A. P. Durchmessers. Mit dem "radiological chest volume" konnten HURTADO und FRAY, die Ergebnisse von LUNDSGAARD nicht bestätigen. Sie fanden keinen Zusammenhang zwischen den Atemvoluminas und äusseren Thoraxmessungen, jedoch fanden sie gute Übereinstimmung ihres "radiological chest volume" mit den Atemvoluminas von Testpersonen jeden Alters.

Dieses Verfahren wurde von KALTREIDER und Mitarb. weitergeführt und in der Technik etwas modifiziert.

Wir versuchten nun mit Hilfe des "radiological chest volume" einen Anhalt für die wirkliche Lungengrösse zu bekommen.

Bei 23 männlichen Versuchspersonen der vorherigen Reihe im Alter zwischen 16 und 69 Jahren machten wir bei gleicher Versuchsanordnung jeweils zusätzlich eine Herzfernaufnahme beim Atemanhalten in Inspirationsstellung und beim Atem-

anhalten in Expirationsstellung. Der A.P. Durchmesser wurde ebenfalls in Höhe des Ansatzes der dritten Rippe bestimmt.

VERSUCHSABLAUF UND AUSWERTUNG

Der Patient stand aufrecht vor der Röntgenplatte und hielt das Mundstück des Spirometers in der rechten Hand. Nachdem der ganze Messvorgang 2-3 Mal geübt worden war, wurde der Patient aufgefordert, tief einzuatmen, den Atem anzuhalten; auf Kommando wurde die Aufnahme von der Röntgenassistentin ausgelöst, darauf wechselten wir sofort die Röntgenplatten, der Patient durfte immer noch nicht atmen, sobald die neue Aufnahme im Ständer war, wurde der Patient aufgefordert, in den Spirometer auszuatmen. In Expirationsstellung musste er nochmals den Atem anhalten, bis die 2. Aufnahme ausgelöst war. Anschliessend wurde der ganze Vorgang nochmals wiederholt, nur wurden anstatt der Röntgenaufnahmen die äusseren Thoraxmasse (für die Berechnungen nach LUNDSGAARD und HURTADO) in Inspirationsstellung und Expirationsstellung mit dem Beckenzirkel abgenommen. Der Patient wurde dabei angehalten, annähernd gleich stark zu atmen und genau so viel in den Spirometer zu blasen wie beim Hauptversuch.

Leider waren wir zu dieser Wiederholung gezwungen, weil wir nicht über die automatisch arbeitende Messapparatur von HURTADO oder KALTREIDER verfügten.

Da der Patient in der gleichen Haltung vor der Röntgenplatte in Inspiration und Expiration stehen musste, konnte mit dem Spirometer auch nicht die volle Vitalkapazität gemessen werden.

Anschliessend übertrugen wir von den Röntgenaufnahmen die Lungengrenzen (Zwerchfell und Thoraxwand) auf Zeichenpapier. Da die Grenzen der Herzbasis und des oberen Mediastinums röntg. nicht einwandfrei abgegrenzt werden, ersetzten wir diese nachträglich einheitlich bei allen Lungenaufnahmen mit einer Geraden. An Stelle der Herzbasis zogen wir eine Gerade zwischen dem linken und rechten Punkt, wo sich der Herzschatten mit dem Zwerchfellschatten schneidet. Als obere Begrenzung des Thorax zogen wir eine Gerade, die beide Lungenspitzen als Tangente berührt.

Auf diese Weise erhielten wir eine röntg. gemessene Thoraxfläche, die von Zwerchfellschatten Thoraxwand und an der Herzbasis und Spitze des Mediastinums von einer Geraden begrenzt ist. Diese Fläche wurde mit einem Radplanimeter ausgemessen.

Aus der Röntg. Thoraxfläche und dem Durchmesser berechneten wir dann das röntg. Thoraxvolumen.

Bei bekanntem röntg. Thoraxvolumen in Inspiration und Expiration und dem Spirometerwert stellten wir nun folgende Gleichung auf:

$$(\text{röntg. Thoraxvolumen bei Exp.}) \cdot x + \text{Spirometerdifferenz} = (\text{röntg. Thoraxvolumen bei Insp.}) \cdot x$$

Im Einzelfall erhielten wir z.B. folgende Werte:

	Inspiration	Expiration
Thoraxdurchmesser:	18,5 cm	16 cm
Rö. Thoraxfläche	671 qcm	415 qcm
Spirometerwert	3 500 ml	

Rö. Thoraxvolumen bei Inspiration: $671 \cdot 18,5 = 12\,430$ ml

Rö. Thoraxvolumen bei Expiration: $415 \cdot 16 = 6\,640$ ml

Setzt man diese Werte in die obige Gleichung ein, so erhält man:

$$6\,640 \cdot x + 3\,500 = 12\,430 \cdot x$$

$$x = 0,605$$

ERGEBNIS DER VERSUCHSREIHE

Dieser Faktor x wurde an 23 Versuchspersonen bestimmt. Bei diesen 23 Fällen schwankte x zwischen 0,431 und 0,701. Als Mittelwert ergab sich 0,558 mit einer Streuung von $\pm 0,0734$. Da sich für x ein annähernd konstanter Faktor ergab, ziehen wir den Schluss, dass x in Beziehung zur wirklichen Lungengröße steht und dass es ein Korrekturfaktor für das rö. Thoraxvolumen darstellt, aus dem man so einen Wert erhält, der der eigentlichen Lungengröße entspricht. Das heisst, dass rö. Thoraxvolumen $\cdot x$ würde der wirklichen Lungengröße in dem Moment der Messung entsprechen.

Multipliziert man im vorherigen Versuchsbeispiel das rö. Thoraxvolumen in Expiration und Inspiration mit dem errechneten x , so erhält man für die Lungengröße:

$$\text{In Exsp. } 6\,640 \cdot 0,605 = 4\,020 \text{ ml}$$

$$\text{In Insp. } 12\,430 \cdot 0,605 = 7\,520 \text{ ml}$$

Die Differenz zwischen Expiration und Inspiration entspricht genau dem Spirometerwert von 3500 ml.

Multipliziert man nun die rö. Thoraxvolumina mit dem Mittelwert $x = 0,558$, so ergibt sich für die Lungengröße:

$$\text{In Exsp. } 3\,700 \text{ ml und in Insp. } 6\,940 \text{ ml.}$$

In Tabelle 1 sind die Werte aller 23 Atemversuche zusammengefasst. (s.S.16)

In der ersten Spalte der Tabelle stehen die einzelnen x Werte, die zweite Spalte bringt den Spirometerwert, der dem Atemvolumen zwischen Inspirationsstellung und Expirationsstellung entspricht, in der dritten Spalte ist das rö. Thoraxvolumen in Inspirationsstellung $\cdot x =$ Lungengröße in Inspiration berechnet, die vierte Spalte stellt die Lungengröße in Expirationsstellung dar, berechnet aus rö. Thoraxvolumen in Expiration $\cdot x$, in der fünften und sechsten Spalte sind die Lungengrößen mit dem Mittelwert $x = 0,558$ berechnet.

Wie die Werte der vorangegangenen Tabelle zeigen, haben wir mit $x = 0,558$ einen Faktor erhalten, mit dem wir aus dem rö. Thoraxvolumen einer Versuchsperson einen Näherungswert für die Lungengröße in einer bestimmten Atemlage errechnen können. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass der Stand des Zwerchfelles voll mitberücksichtigt wird. So konnten wir jeweils in der gleichen Versuchslage, in der die Durchblutungsmessung vorgenommen wurde, die Lungengröße ermitteln.

TABELLE 1

Faktor x	Spiromtr.- wert	rö. Thorax- vol. Insp. x	rö. Thorax- vol. Exsp. x	rö. Thorax- vol. Insp. 0,558	rö. Thorax- vol. Exsp. 0,558
0,606	4 000	8 260	4 260	7 600	3 920
0,431	2 600	5 320	3 720	6 900	3 540
0,571	2 500	7 920	5 420	7 740	5 300
0,605	3 500	7 520	4 020	6 940	3 700
0,510	3 200	9 510	6 310	10 400	6 910
0,524	3 600	7 930	4 330	8 450	4 610
0,560	2 500	9 330	6 830	9 300	6 810
0,504	2 600	6 400	3 800	7 100	4 230
0,564	2 700	6 850	4 150	6 790	4 110
0,525	2 100	5 340	3 240	5 680	3 480
0,604	3 000	8 710	5 710	8 060	5 280
0,517	2 700	7 560	4 860	8 190	5 260
0,476	1 600	7 160	5 560	8 390	6 510
0,530	2 700	7 440	4 740	7 850	5 000
0,469	2 600	6 330	3 730	7 540	4 440
0,683	5 000	9 650	4 650	7 870	3 790
0,675	2 500	6 190	3 690	5 110	3 050
0,564	2 900	6 000	3 100	5 940	3 600
0,635	4 500	9 160	4 660	8 060	4 100
0,496	2 400	5 740	3 340	5 460	3 760
0,483	2 500	5 660	3 150	6 550	3 640
0,593	2 600	6 030	3 430	5 670	3 240
0,701	3 400	9 220	5 820	7 350	4 640

BERECHNUNG DER LUNGENGROSSE FÜR DIE DURCHBLUTUNGSMESSUNG

Da die rö. Durchblutungsmessungen in Atemmittellage durchgeführt wurden, mussten wir auch die Lungengrösse in Atemmittellage berechnen. Waren die Messungen im Liegen vorgenommen worden, so fertigten wir z.B. eine Lungenaufnahme mit 2 m Abstand im Liegen und in Atemmittellage an. Wir legten den Patienten mit der Brust auf die Röntgenplatte und liessen ihn ganz normal atmen, vor Auslösung der Aufnahme forderten wir ihn unvermittelt auf, nicht mehr zu atmen. Wurde die Durchblutung der Lunge im Stehen gemessen, machten wir eine Lungenaufnahme im Stehen mit 2 m Abstand. Zur Berechnung des rö. Thoraxvolumens massen wir den A.P. Thoraxdurchmesser in Höhe des Ansatzes der dritten Rippe ebenfalls in Atemmittellage. Das heisst, wir nahmen als Thoraxdurchmesser den Mittelwert der Ausschläge in Inspiration und Expiration.

Wir verzichteten auf die Bestimmung des Thoraxdurchmessers mit einer seitlichen Röntgenaufnahme. Dies geschah in Übereinstimmung mit der Arbeit von HURTADO und FRAY, die zeigte, dass der äussere Thoraxdurchmesser in Höhe des Ansatzes der dritten Rippe am Sternum annähernd dem wirklichen inneren Thoraxdurchmesser entspricht.

Die rö. Thoraxfläche wurde wieder mit dem Radplanimeter bestimmt und das Ergebnis mit dem mittleren Thoraxdurchmesser multipliziert. Dieses rö. Thoraxvolumen multiplizierten wir dann mit dem Faktor 0,558 und erhielten so einen Wert für die Lungengrösse. Bei einer Versuchsperson mit mittlerem Thoraxdurchmesser von 20 cm war die rö. Thoraxfläche z.B. 459 qcm, für die Lungengrösse erhielten wir also $459 \cdot 20 \cdot 0,558 = 5110 \text{ ml}$.

Nun brauchen wir nur noch die quantitative Messung der Durchblutungsänderungen des Lungenzylinders mit der ganzen Lungengrösse in Beziehung zu setzen, um so die Durchblutungsänderungen der ganzen Lunge zu erhalten. Für die Länge des gemessenen Thoraxzylinders nahmen wir den mittleren Thoraxdurchmesser, der auch schon zur Berechnung des rö. Thoraxvolumens genommen wurde, da dieser annähernd dem wirklichen inneren Thoraxdurchmesser entspricht.

D. FORTLAUFENDE MESSUNG DER QUANTITATIVEN VERÄNDERUNGEN DES LUNGENBLUTVOLUMENS UNTER WIRKUNG KREISLAUFAKTIVER MEDIKAMENTE UND STATISCHER MASSNAHMEN

VERÄNDERUNG DES LUNGENBLUTVOLUMENS DURCH SYMPATOL

Versuch 1. Abb.2

Patient Z. Alter 36 Jahre, Grösse 1,68 m, Gewicht 82,2 kg.

Der Patient war in stationärer Behandlung wegen stenokardischen Beschwerden mit psychischer Überlagerung.

Die Messung wurde bei einem Durchleuchtungsstrom von 55 kV und 1 mA durchgeführt.

Papiergeschwindigkeit 2/9 mm/sec (Die Länge zweier Vierecke auf dem Kurvenpapier entspricht 3 Min.)

Versuchsdauer 20 Min. bzw. 24 Min.

Die ganze Messung wurde in Schräglage ausgeführt.

Versuchsverlauf:

Zuerst wurde ca. 3 Min. die Dichtekurve in Nullage geschrieben, dann schoben wir nacheinander 5 Eichstufen ein, deren Strahlenabsorption einen deutlichen stufenförmigen Ausschlag nach unten bewirkte, nach der 5.Stufe gingen wir wieder auf die Nulllinie zurück. Bei der Markierung injizierten wir langsam 1 ml (0,06 g) Sympatol i.v.. Nach ca. 1,5 Min. nahm die Frequenz der Atmung zu und die Atemtiefe ab, gleichzeitig trat eine plötzliche Dichtezunahme der

Lunge ein, die wir auf einen vermehrten Bluteinstrom unter Sympatol zurückführen. Diese Dichtezunahme ging innerhalb 12 Minuten wieder auf die Nullage zurück. Zur Entlastung des Patienten wurde nach 20 Minuten Versuchsdauer die Messapparatur ausgeschaltet. Zur Nachkontrolle wurde noch 2 Mal kurz eingeschaltet, um die nachträgliche Dichteschwankung zu kontrollieren.

Der Blutdruck betrug zu Beginn 140/90 und stieg unter der Wirkung von Sympatol bis auf 185/100.

Die Veränderung des Blutdrucks ist aus der Kurve abzulesen.

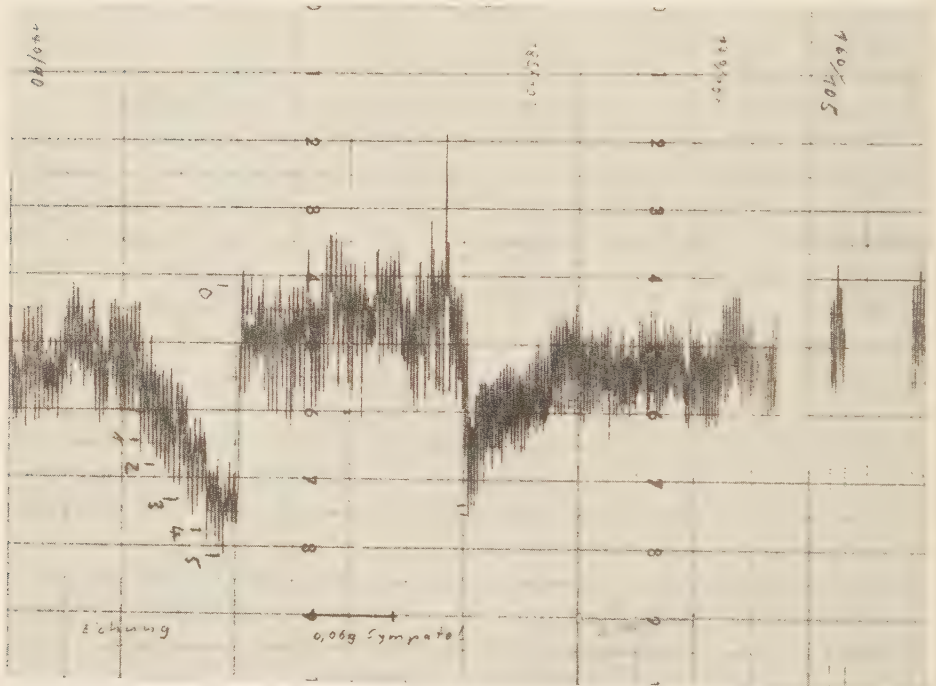


ABBILDUNG 2

Berechnung der Lungengrösse:

Die Lungenaufnahme zur Messung des rö. Thoraxvolumens wurde mit 2 m Abstand in der vorherigen Versuchslage gemacht.

Der mittlere Thoraxdurchmesser betrug: 20 cm

Die rö. Thoraxfläche war: 401 qcm

Also folgt für das rö. Thoraxvolumen: $401 \cdot 20 = 8\,020\text{ ml}$

Dieser Wert muss mit dem Korrekturfaktor 0,558 multipliziert werden.

Für die Lungengrösse erhält man:

$$8\,020 \cdot 0,558 = 4\,470\text{ ml}$$

Der gemessene Lungenzylinder war: 50 ml

Berechnung der quantitativen Veränderung des Blutvolumens:

Die Dichteverchiebung wurde aus einer gedachten Linie abgelesen, die durch die unteren Kurvenzacken verläuft.

Aus der Eichung ergibt sich:

Ein Ausschlag nach unten von 0,5 cm entspricht 1 ml

Der höchste Kurvenausschlag beträgt: 2 cm

Dieser entspricht also: $2 : 0,5 = 4$ ml

In den gemessenen Lungenzylinder, der 50 ml gross ist, sind also 4 ml Blut hineingeflossen.

Die ganze Lunge enthält $4\,470 : 50 = 89,4$ solche Zylinder, daher sind in die Lunge $89,4 \cdot 4 = 358$ ml Blut hineingeflossen.

Nach weiteren 3 Min. beträgt der Kurvenausschlag: 0,4 cm

Dieser entspricht: $0,4 : 0,5 = 0,8$ ml

Auf die ganze Lunge umgerechnet sind dies:

$$89,4 \cdot 0,8 = 71,5 \text{ ml}$$

V Versuchsergebnis:

Nach Injektion von 0,96 g Sympatol trat die höchste Zunahme des Lungenblutvolumens nach ca 1,5 Min. ein, sie betrug 358 ml, nach weiteren 3 Minuten war diese nur noch 71,5 ml gross.

V Versuch 2. Abb.3

Patient F. Alter 61 Jahre, Grösse 1,68 m, Gewicht 76,2 kg.

Stationäre Behandlung wegen peripheren Durchblutungsstörungen.

Durchleuchtungsstrom 50 kV, 1 mA

Papiergeschwindigkeit 2/9 mm/sec

Versuchsdauer 21 Min.

Die Messung wurde in Schräglage ausgeführt.

V Versuchsverlauf:

Nach Registrierung der Dichtekurve in Nulllage wurde die Eichung mit 6 Stufen vorgenommen. Bei der Markierung erfolgte die Injektion von 1 ml Sympatol. Der Blutdruck betrug zu Beginn 185/100. Während der Versuchsdauer stieg er bis 245/120.

Berechnung der Lungengrösse:

Die Lungenaufnahme erfolgte in Schräglage und 2 m Abstand.

Mittlerer Thoraxdurchmesser 20 cm

Rö. Thoraxfläche 459 qcm

Rö- Thoraxvolumen $459 \cdot 20 = 9\,180$ ml

Lungengrösse $9\,180 \cdot 0,558 = 5\,110$ ml

Lungenzylinder 50 ml

Berechnung der Blutverschiebung:

Die Eichung ergibt: 0,3 cm entsprechen 1 ml

Höchster Kurvenausschlag (2 Min. nach Injektion) 0,6 cm

Dieser entspricht: $0,6 : 0,3 = 2$ ml

Der Blutgehalt des Lungenzylinders hat also um 2 ml Blut zugenommen.

Die Zunahme des Blutgehaltes der ganzen Lunge ist:

$$5110 : 50 \cdot 2 = 204 \text{ ml}$$

Nach weiteren 3 Min. war die Durchblutung noch praktisch gleich. 6 Min. nach dem höchsten Kurvenausschlag betrug der Ausschlag: 0,3 cm

Die Zunahme des Blutgehaltes der Lunge ist jetzt nur noch

102 ml.

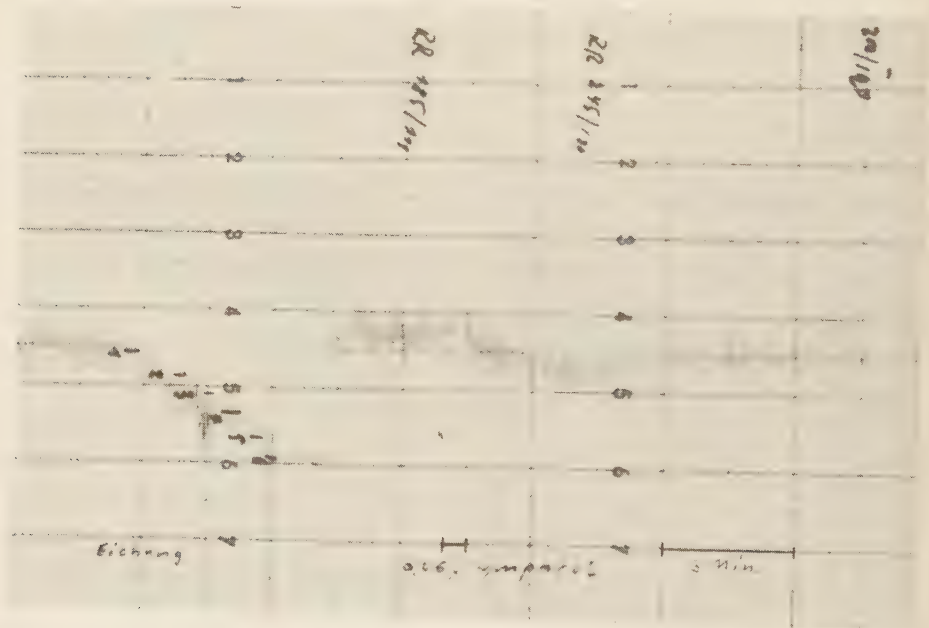


ABBILDUNG 3

Versuchsergebnis:

Etwa 2 Min. nach Injektion von 0,06 g Sympatol trat die höchste Zunahme des Lungenblutvolumens ein, sie betrug 204 ml, nach 8 Min. war diese nur noch 102 ml.

VERÄNDERUNG DES LUNGENBLUTVOLUMENS DURCH ECOLID

Versuch 3. Abb.4.

Patient F. Alter 68 Jahre, Grösse 1,72 m, Gewicht 64,1 kg.

Stationäre Behandlung wegen chron. Bronchitis und Hypertonie.

Durchleuchtungsstrom 50 kV, 1 mA.

Papiargeschwindigkeit 2/9 mm/sec

Versuchsdauer 25 Min.

Die Messung wurde in fast aufrechter Stellung ausgeführt.

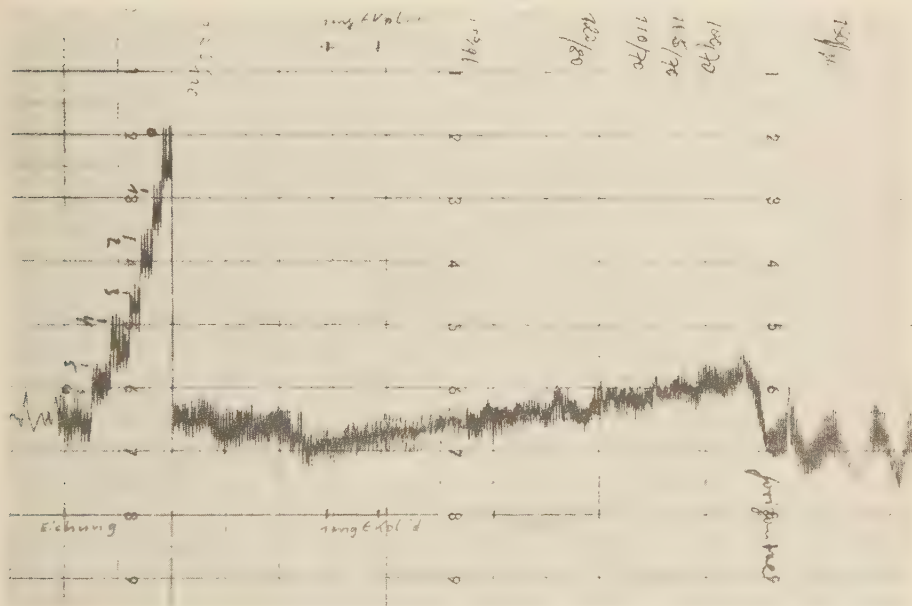


ABBILDUNG 4

Versuchsverlauf:

Da wir bei der Injektion von Ecolid mit einem Blutabfluss aus der Lunge rechneten, wurde in der Ausgangslage mit den 6 vorgeschalteten Stufen gemessen. Zieht man jetzt zur Eichung die Stufen nacheinander heraus, so erhält man eine stufenförmige Dichteabnahme, also einen Ausschlag nach oben. Nach der Eichung schoben wir wieder alle Eichplatten vor die Fotozelle. Bei der Markierung haben wir 1 mg Ecolid injiziert. Eine stetige Dichteabnahme und Blutdruckabfall waren die Folge. Der Blutdruck betrug bei Beginn 225/130. Bei einem Blutdruck von 100/70 drohte der Patient zu kollabieren, daher mussten wir ihn in Horizontallage bringen. Anschliessend haben wir den Versuch abgebrochen.

Berechnung der Lungengrösse:

Die Lungenaufnahme erfolgte im Stehen und 2 m Abstand.

Mittlerer Thoraxdurchmesser	20 cm
Rö. Thoraxfläche	550 qcm
Rö. Thoraxvolumen	$550 \cdot 20 = 11\,000\text{ ml}$
Lungengrösse	$11\,000 \cdot 0,558 = 6\,140\text{ ml}$
Lungenzylinder	50 ml

Berechnung der Blutverschiebung:

Die Eichung ergibt: 0,83 cm entsprechen	1 ml
Höchster Kurvenausschlag (11 Min. nach Inj.)	1,4 cm
Dieser entspricht:	$1,4 : 0,83 = 1,7\text{ ml}$
Der Blutgehalt des Lungenzylinders hat also um	1,7 ml
abgenommen.	

Die Abnahme des Blutgehaltes der ganzen Lunge ist:

$$6\,140 : 50 \cdot 1,7 = 208\text{ ml}$$

6 Min. nach Injektion betrug der Ausschlag 0,9 cm

Es folgt: $0,9 : 0,83 = 1,1\text{ ml}$

$$6\,140 : 50 \cdot 1,1 = 135\text{ ml}$$

V Versuchsergebnis:

Nach Injektion von 1 mg Ecolid hat nach 6 Min. der Blutgehalt der Lungen um 135 ml abgenommen, nach ca. 11 Min. um 208 ml.

VERÄNDERUNG DES LUNGENBLUTVOLUMENS DURCH STAUUNG UND LAGERUNGSÄNDERUNG DER BEINE

Versuch 4. Abb.5

Patient G. Alter 22 Jahre, Grösse 1,80 m, Gewicht 75 kg. Student

Durchleuchtungsstrom 50 kV, 1 mA

Papiargeschwindigkeit 2/9 mm/sec

Versuchsdauer 15 Min.

Die Messung wurde zuerst im Stehen, dann im Liegen ausgeführt.

(Abb.5 siehe Seite 23)

Versuchsverlauf:

Mit 2 Blutdruckmanschetten wurde an beiden Oberschenkeln der venöse Abfluss der Beine im Stehen gestaut. Die Stauung begann an der 1. Markierung. Wie in Versuch 3 wurde hier ebenfalls mit 6 vorgeschalteten Stufen gemessen. Die Eichung ist aus Versehen umgekehrt beschriftet wie in Abb.3.

Nachdem die Beine 6 Min. gestaut waren, brachten wir den Patienten in Horizontallage. Eine Hilfsperson hob beide Beine der Versuchsperson ca 45° hoch, bei "Öffnen" wurde die Stauung plötzlich aufgemacht. Der folgende Verlauf der Kurve zeigt eine deutliche Dichtezunahme der Lunge. Um den Patienten vor grösserer Strahlenbelastung zu bewahren, haben wir anschliessend die Messung abgebrochen.

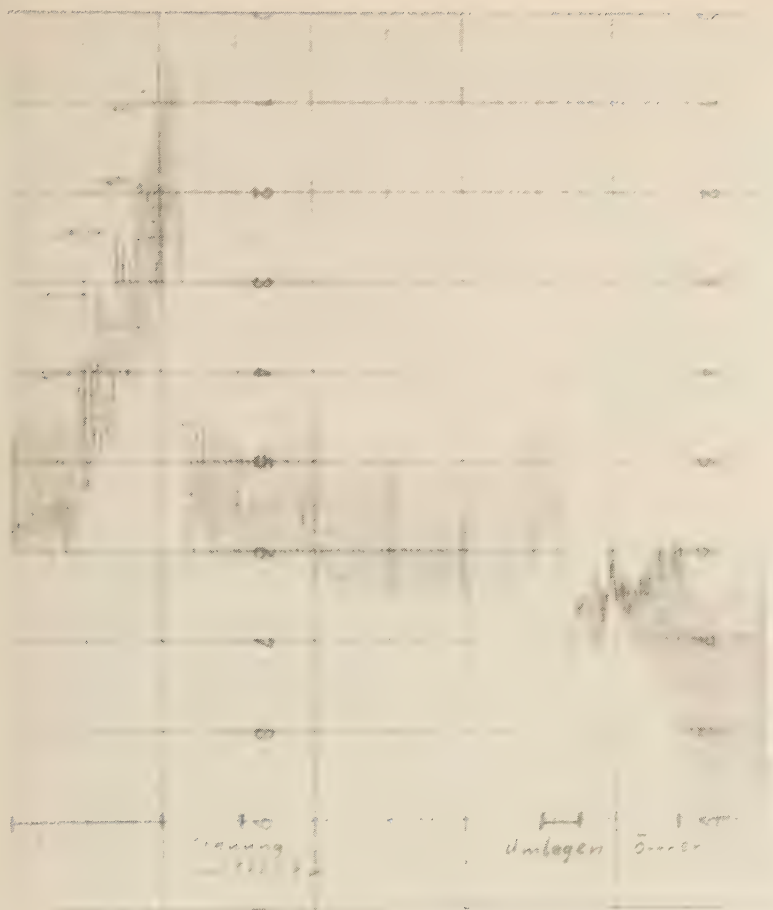


ABBILDUNG 5

Berechnung der Lungengrösse:

Die Lungenaufnahme wurde im Liegen bei 2 m. Abstand gemacht.

Mittlerer Thoraxdurchmesser	17,5 cm
Rö. Thoraxfläche	465 qcm
Rö. Thoraxvolumen	8 140 ml
Lungengrösse	4 540 ml
Lungenzylinder	$17,5 \cdot 2,5 = 43,8$ ml

Berechnung der Blutverschiebung:

Die Eichung ergibt: 0,82 cm entsprechen	1 ml
Kurvenausschlag nach Öffnen der Stauung:	1,8 cm
Dieser entspricht:	$1,8 : 0,82 = 2,2$ ml

Der Blutgehalt des Lungenzylinders hat also um 2,2 ml
zugenommen.

Die Zunahme des Blutgehaltes der ganzen Lunge ist:

$$4\,540 : 43,8 \cdot 2,2 = 228 \text{ ml}$$

Versuchsergebnis:

Nach Öffnen der Stauung der gehobenen Beine hat sich das Blutvolumen der Lunge um 228 ml vergrößert.

Versuch 5. Abb.6

Patientin B. Alter 45 Jahre, Grösse 1,58 m, Gewicht 51,4 kg

Stationäre Behandlung wegen Gastroduodenitis.

Durchleuchtungsstrom 40 kV, 1 mA

Papiergeschwindigkeit 2/9 mm/Sec

Versuchsdauer ca. 18 Min.

Die Messung wurde in Kopftieflage ausgeführt.

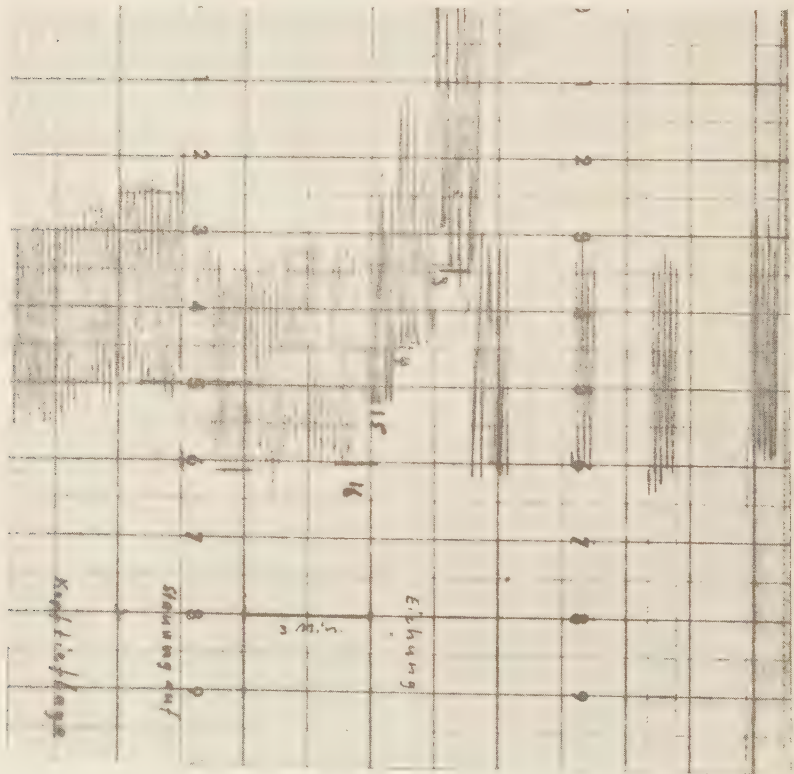


ABBILDUNG 6

Versuchsverlauf:

Die Messung wurde mit allen 6 vorgeschalteten Eichstufen durchgeführt. Die Eichung wurde am Schluss vorgenommen. Die Patientin befand sich in Kopftieflage. Die Kurve zeigt, wie während der Stauung bereits die Dichte der Lunge abnimmt. Nach dem plötzlichen Öffnen der Stauung erhalten wir eine deutliche Dichtezunahme in der Lunge. Dieses Mal wurden die Beine nicht gehoben. Nach der Eichung haben wir die Messung abgeschaltet und nur in Abständen die Dichte kurz kontrolliert. Wahrscheinlich ging die Dichtekurve wegen der Kopftieflage nicht rasch in die Nullage zurück.

Berechnung der Lungengrösse:

Die Lungenaufnahme wurde im Liegen bei 2 m Abstand gemacht.

Mittlerer Thoraxdurchmesser	18 cm
Rö. Thoraxfläche	456 qcm
Rö. Thoraxvolumen	8 210 ml
Lungengrösse	4 590 ml
Lungenzylinder	45 ml

Berechnung der Blutverschiebung:

Die Eichung ergibt: 1 cm entspricht	1 ml
Kurvenausschlag nach Öffnen der Stauung:	1,4 cm
Dieser entspricht:	$1,4 : 1 = 1,4$ ml
Der Blutgehalt des Lungenzylinders hat also um	1,4 ml
zugenommen.	

Die Zunahme des Blutgehaltes der ganzen Lunge ist:

$$4\,590 : 45 \cdot 1,4 = 143 \text{ ml}$$

V Versuchsergebnis:

Wurden bei der Patientin, die sich in Kopftieflage befand, die Stauungen beider Beine gelöst, so vergrösserte sich das Lungenblutvolumen um 143 ml.

Versuch 6. Abb. 7

Patient L, Alter 55 Jahre, Grösse 1,70 m, Gewicht 96 kg

Patient kam ambulant, er war in Behandlung wegen peripheren Durchblutungsstörungen.

Durchleuchtungsstrom 50 kV, 1 mA

Papiergeschwindigkeit 2/9 mm/sec

Versuchsdauer ca. 15 Min.

Die Messung wurde in Horizontallage ausgeführt.

Versuchsverlauf:

Wie bei Versuch 5 wurde hier die Eichung am Schluss durchgeführt. Während der Stauung zeigt sich hier auch eine deutliche Dichteabnahme der Lunge. Wieder wurden die Beine beim Öffnen der Stauung nicht gehoben. Da der Patient ganz flach lag, ging der Blutrückstrom nicht über die Blutmenge in der Ausgangslage hinaus.

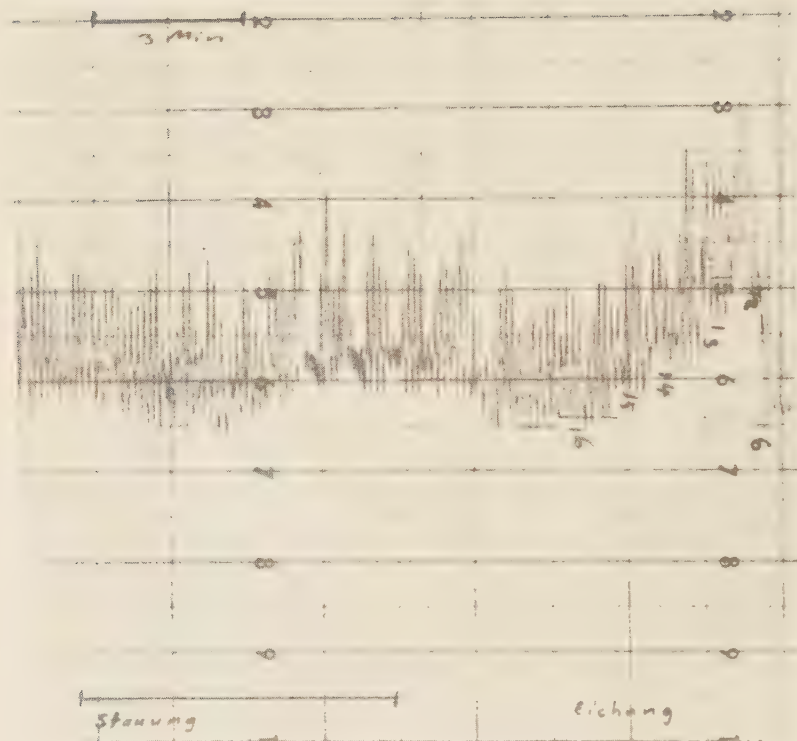


ABBILDUNG 7

Berechnung der Lungengrösse:

Die Lungenaufnahme wurde im Liegen bei 2 m Abstand gemacht.

Mittlerer Thoraxdurchmesser	20,5 cm
Rö. Thoraxfläche	394 qcm
Rö. Thoraxvolumen	8 080 ml
Lungengrösse	4 510 ml
Lungenzylinder	51,25 ml

Berechnung der Blutverschiebung:

Die Eichung ergibt: 0,45 cm entsprechen	1 ml
Grösster Kurvenausschlag nach Öffnen der Stauung: 0,65 cm	
Dieser entspricht:	$0,65 : 0,45 = 1,44 \text{ ml}$

Der Blutgehalt des Lungenzylinders hat also um 1,44 ml zugenommen.

Die Zunahme des Blutgehaltes der ganzen Lunge:

$$4\ 510 : 51,25 \cdot 1,44 = 127\text{ ml}$$

Versuchsergebnis:

Nach Lösung der Stauung an beiden Beinen flossen 127 ml Blut in die Lunge zurück.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der 6 Versuche zusammengefasst.

Versuchsnummer	Kreislaufaktives Medikament u. andere Massnahmen	Höchste Veränderung des Blutvolumens	Zeit
1	0,06 g Sympatol	+ 358 ml	nach 1 Min. 30 Sek.
2	0,06 g Sympatol	+ 204 ml	nach 2 Min.
3	1 mg Ecolid	- 135 ml - 208 ml	nach 6 Min. nach 12 Min.
4	Lösung der Stauung mit Hochheben	+ 228 ml	sofort
5	Lösung der Stauung ohne Hochheben	+ 143 ml	sofort
6	Lösung der Stauung ohne Hochheben	+ 127 ml	sofort

TABELLE 2

+ bedeutet eine Zunahme des Lungenblutvolumens

- bedeutet eine Abnahme des Lungenblutvolumens

E. DISKUSSION

Zum ersten Mal machte 1946 M. MARCHAL den Versuch, die Elektrokymographie als Elektrodensigraphie zur Dichtemessung der Lunge heranzuziehen. Unter gleichzeitiger Elektrokymographie des Herzens hat er die Dichteschwankungen an verschiedenen Stellen der Lunge gemessen und Rückschlüsse auf die Pulsation und Durchblutung gezogen. Zu einer quantitativen Messung kam er jedoch nicht. 1949 hat dann Marchal die Elektrodensigraphie dazu verwandt, über einzelnen Lungenfelder die Dichteschwankungen bei Inspiration und Expiration zu messen, um dadurch ein Mass für die Stärke der Durchatmung des Lungengewebes anzugeben.

R. KJELLBERG und Mitarb. (1950) haben ebenfalls neben der Elektrokymographie des Herzens mit einem Elektrokymographen die Dichteschwankungen der Lunge gemessen. Sie machten auch einen Versuch, bei dem sie die Beine eines liegenden Patienten stauten, anschliessend hochhoben und plötzlich die Stauung öffneten. Dabei konnten sie sofort eine Dichtezunahme der Lungen beobachten, die sie

auf den vermehrten Blutrückfluss aus der Peripherie zurückführten. Ebenso wie MARCHAL haben R. KJELLBERG und Mitarb. mit ihren Versuchen die quantitative Durchblutungsänderung der Lunge nicht gemessen. Dies lag wohl daran, weil sie keine Gleichspannungsregistriervorrichtung verwendeten, sondern mit einer Wechselfspannung arbeiteten.

Durch die Verwendung einer Gleichspannungsregistriervorrichtung konnten wir aus der Gesamtniveaushiftung der Atmungsdruckkurve die Veränderungen des Lungenblutvolumens quantitativ berechnen. Dabei haben wir die Veränderungen der Lymphe vernachlässigt. Indem wir die Blutverschiebung in unserem "Lungenzylinder" zur ganzen Lunge in Beziehung setzten, gingen wir von der Voraussetzung aus, dass sich in allen übrigen Lungenteilen das Blutvolumen gleich verändert. So nahmen wir auch an, dass die Gewebisdichte in allen übrigen Lungenteilen im Durchschnitt gleich stark ist, wie in dem gemessenen Lungenzylinder.

Weil wir die Eichung in Nullage vor Beginn des Atemversuches machten, wurde dadurch in jedem einzelnen Fall der Betrag der störenden Strahlenabsorption der extrapulmonären Gewebsschichten für die Auswertung und Berechnung der Dichteveränderungen des Lungenzylinders eliminiert. Wenn sich die Dichte von Haut-, Muskel- und Fettgewebe während des Versuchsablaufes nicht ändert, wird allein die Dichteänderung der Lunge gemessen. Sollte sich jedoch die Durchblutung des extrapulmonären Gewebes ändern, so ist diese Dichteschwankung sicher so geringfügig, dass wir sie im Verhältnis zur Lunge vernachlässigen können.

Die Berechnung des Faktors x und seine Schwankung in den einzelnen Fällen zeigt, wie schwierig es ist, für das Volumen eines Organes, das schon aus natürlichen Gründen andauernden Volumenschwankungen unterworfen ist, überhaupt ein Verfahren auszuarbeiten, mit dem man seine Grösse bestimmen kann. Die Streuung des Mittelwertes $x = 0,558$ aller 23 Versuche um $\pm 0,0734$ zeigt, wie begrenzt uns dies gelungen ist.

Bei der Berechnung der Lungengrösse aus röntgen. Thoraxvolumen $\cdot 0,558$ handelt es sich also nur um ein Näherungsverfahren, das jedoch immer noch genauere Werte ergibt, wie alle bisherigen Methoden, bei denen die Lungengrösse aus anderen Körpermassen errechnet wird. Durch die Messung der röntgen. Thoraxfläche und der anschliessenden Berechnung des röntgen. Thoraxvolumens haben wir in jedem Fall eine Grösse, die anscheinend eine genauere Beziehung zur Lungengrösse selbst hat, als alle bisherigen Vergleiche mit äusseren Thoraxmassen, Körpergewicht, Körperoberfläche oder Körpergrösse.

Die Messung der Lungendichte ist bis jetzt das einzige Verfahren, mit dem die quantitativen Veränderungen des Lungenblutvolumens fortlaufend gemessen werden können. Mit den Farbstoffverdünnungsmethoden ist dies nur begrenzt möglich; auch sind diese bei der Messung des Lungenblutvolumens recht ungenau. Man kann annehmen, dass man mit der Registrierung der Dichteschwankungen die quantitativen Durchblutungsänderungen der Lunge ebenso genau, wenn nicht sogar genauer, als mit den Farbstoffverdünnungsmethoden bestimmen kann.

Die Bestimmung des Gesamtblutgehaltes der Lungen bleibt nach wie vor der Farbstoffverdünnungsmethoden vorbehalten.

F. ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem Elektrokymograph nach Prof. Heckmann-Ing. Knott wird die Dichteschwankung der Lunge in einem unteren Feld gemessen. Durch eine Gleichspannungsregistriervorrichtung erhält man eine Kurve, welche einerseits die Zu- und Abnahme der Lungendichte durch Ein- und Ausatmung wiedergibt, und deren Niveauverschiebung andererseits der Dichteveränderung der Lunge insgesamt entspricht. Diese Dichteveränderung entspricht der Flüssigkeitszu- oder -abnahme in einem gemessenen Lungenzylinder, dessen Grundfläche gleich der Fläche der Fotozelle von 2,5 qcm ist. Als Länge für diesen Lungenzylinder wird der mittlere A.P. Durchmesser in Höhe des Ansatzes der 3. Rippe am Sternum gemessen.

Durch eine Eichung, die jedes Mal neu vorgenommen wird, ist es gelungen, die Dichteschwankungen in diesem Lungenzylinder quantitativ zu messen. Die Eichung besteht aus 6 0,4 cm dicken Plexiglasstufen -Plexigals hat die gleiche Dichte wie Blut-, die nacheinander vor die Fotozelle geschoben werden. Eine Stufe gibt die Höhe des Ausschlages des Registriergerätes wieder, wenn das Blutvolumen des gemessenen Zylinders sich um 1 ml ändert.

Die Grösse der Lunge wird aus dem rö. Thoraxvolumen mal dem Faktor 0,558 bestimmt. Das rö. Thoraxvolumen wird aus der rö. Thoraxfläche mal mittlerem A.P. Durchmesser berechnet.

Den Korrekturfaktor haben wir an 23 Versuchspersonen ermittelt, indem wir das rö. Thoraxvolumen in Expiration und in Inspiration und den Spirometerwert, der der Differenz des Atemvolumens zwischen Inspirationsstellung und Expirationsstellung entspricht, zueinander in Beziehung setzten. Als Mittelwert erhielten wir 0,558 mit einer Streuung von $\pm 0,0734$. Die verhältnismässig grosse Streuung zeigt, dass mit unserem Faktor die Lungengrösse nur annähernd bestimmt werden kann.

Die rö. Thoraxfläche wird aus einer Thoraxaufnahme (2 m Abstand) mit einem Radplanimeter gemessen. Als mittleren Thoraxdurchmesser nahmen wir den Mittelwert des A.P. Durchmessers in Höhe des Ansatzes der 3. Rippe am Sternum zwischen Inspiration und Expiration.

An 6 Versuchsbeispielen wurde die Methode der fortlaufenden Registrierung der quantitativen Veränderungen des Lungenblutvolumens unter der Wirkung kreislaufaktiver Medikamente und statischer Massnahmen besprochen.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Priv. Doz. Dr. H. HESS für die Überlassung des Themas der Dissertation und für seine unermüdliche Hilfe vielmals danken. Die Untersuchungen wurden unter Leitung von Herrn Priv. Doz. Dr. HESS von Anfang Juni bis Mitte Dezember 1960 ausgeführt.

G. LITERATURVERZEICHNIS

- BRADLEY S.E. a. coll. - A constant - rate indicator - infusion technic for the measurement of central vascular volume in man.
Canad.J.Bioch.a.Physiol., 1955, 33 : 340-348.
- BRAUNWALD E., COURNAND A. a. FISHMAN A.P. - Evaluation in a model of Stewart-Hamilton and Bradley methods for measurement of volume of vascular segments.
Fed.Proc., 1955, 14 : 17.
- COOK, C.D., P.J.HELLIESEN a. S.AGATHON - Relation between mechanics of respiration, lung size and body size from birth to young adulthood.
J.Appl.Physiol. 1958, 13 (3) : 349-352.
- COPPOLETTA, J.M., S.B.WOLBACH - Body length and organ weights of infants and children.
Am.J.Path. 1933, 55.
- DALY J. de BURGH - Observations on the blood - perfused lungs of the dog, guinea-pig and Macacus Thesus, with special reference to spontaneous lung movements.
Quart.J.Exper.Physiol., 1938, 28 : 357-403.
- DOYLE J.T., S.WILSON, Ch.LEPINE, J.V.WARREN - An evaluation of the measurement of the cardiac output and of the so called pulmonary blood volume by the dye dilution method.
J.Labor. a. Clin.Med., 1953, 41 : 29-39.
- HAMILTON W.F. a. coll. - Simultaneous determination of the greater and lesser circulation times, of the mean velocity of blood flow through the heart and lungs, of the cardiac output and an approximation of the amount of blood actively circulating in the heart and lungs.
Amer.J.Physiol., 1928. 85 : 377-378.
- HAMILTON, W.F. a. coll. - Blood flow and intrathoracic blood volume, as determined by the injection method and checked by direct measurement in perfusion experiments.
Amer.J.Physiol., 1930, 93 : 654.
- HAMILTON W.F. a. coll. - Mechanism of the postural reduction in vital capacity in relation to orthopnea and storage of blood in the lungs.
Amer.J.Physiol., 1931-32, 99 : 526-533.
- HEGER P. et Spehl - Recherches sur la fistule péricardique chez le lapin. Ligature des vaisseaux de la base du coeur pendant la respiration naturelle.
Evaluation de la quantité de sang contenue dans les poumons.
Arch. de Biol., 1881, 2 : 153-181.

- HESS H. - Eine Methode zur fortlaufenden Registrierung der Veränderungen des Lungenblutvolumens beim Menschen.
Verh. d. D.Ges.f.Kreislaufforschung 22.Tagung, 297-300 (1956).
- HOFFMAN, J.E. a. SHILLINGFORD J.P. - Minor factors influencing indicator dilution curves.
Clin.Sci., 1957, 16 : 1-10.
- HURTADO A. a. FRAY W.W. - Studies of total pulmonary capacity and its subdivisions. II.Correlation with physical and radiological measurements.
J.Clin.Invest. 1933, 12 : 807.
- KALTREIDER N.L., W.W.FRAY a. H. van ZILE HYDE. - The effect of age on the total pulmonary capacity and its subdivision.
Am.Rev.Tuberc. 1938, 37 : 662-689.
- KJELLBERG, R., U.RUDKE, T.SJÖSTRAND - Recording of x - ray absorption by the lungs with changes in the pulmonary blood contents.
Acta physiol.scand. 1950, 20 : 166.
- KUNO Y. - On the amount of blood in the lungs.
J.Physiol., 1917, 51 : 154-158.
- LAMMERANT J. - Le volume sanguin des poumons chez l'homme.
Université de Louvain (1957) - Editions Arscia, Bruxelles.
- LEMME G. - Fortschritt auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen 58, 3, 240 (1938).
- LI T.H., FISHER J.H. a. ECKSTEIN B.E. - The determination of cardiac output by the dye injection method.
N.E.Med.Center XV, 97-104, Sept.1953.
- LUNDGAARD, Ch., DONALD D. van SLYKE - Studies of lung volume. I.Relation between the thorax and lung volume in normal adults.
J.Exp.Med. 1918, 27 : 65.
- MARCHAL M. - De l'enregistrement des pulsations invisibles du parenchyme pulmonaire ainsi que des pulsations cardio - vasculaires par la kinédensigraphie.
Arch.malad. d. coeur 1946, 39 : 345.
- MARCHAL M. - Mesure de la capacité respiratoire locale par les rayons x. Stadiodensigraphie.
C.r.Acad.Sci.Paris 1949, 228 : 124-126.
- MENICANTI G. - Über das Verhältnis der Menge des Lungenblutes zu der des Körperblutes bei verschiedenen Tieren.
Zeits. für Biol., 1894, 30 : 439-446.

- NEWMAN, E.V. a. coll. - The dye dilution method for describing the central circulation. An analysis of factors shaping the time-concentration curves. *Circulation*, 1951, 4 : 735-746.
- PEARCE M.L. a. coll. - The influence of injection site upon the form of dye dilution curves. *Circulation Res.*, 1953, 1 : 112-115.
- PLUMIER L. - La circulation pulmonaire chez le chien. *Arch.Intern.Physiol.*, 1904, 1 : 176-213.
- REINHARDT E. - Beiträge zur Kenntnis der Lunge als neurovascularen und neuromuskularen Organs nach Beobachtungen an der Lunge des lebenden Kaninchens. *Virchows Archiv* 1934, 292 : 322.
- ROESSLE R. u. F.ROULET - Mass und Zahl in der Pathologie. Springer: Berlin, 1932.
- SPEHL R. et DESGUINE. -Influence de la dépression barométrique sur la quantité de sang contenue dans les poumons. *Arch.Ital.Biol.*, 1909, 51 : 23.
- STEWART G.N. - The pulmonary circulation time, the quantity of blood in the lungs and the output of the heart. *Amer.J.Physiol.*, 1921 (b), 58 : 20-44.

H. LEBENSLAUF

Als Sohn des Dr.med. Anton Fleischer, prakt.Arzt in Biberach a.d.Riss, und seiner Frau Sofie, geb.Sourisseau wurde ich am 15.3.37 in Ulm a.D. geboren.

Von 1943 bis 1947 besuchte ich die Volksschule und ab 1947 bis 1956 das Wieland-Gymnasium in Biberach. Im März 1956 bestand ich das Abitur.

Im Mai 1956 begann ich das Medizinstudium an der Universität Freiburg i.Brg., wo ich nach 5 Semestern im Juli 1958 das Physikum machte.

Im folgenden Wintersemester 1958/59 studierte ich an der Universität Innsbruck und im Sommersemester 1959 an der Universität Wien. Im Herbst 1959 habe ich mein Studium an der Universität München fortgesetzt.

Am Kreiskrankenhaus in Biberach a.d.Riss, an der Klinik Cochin in Paris und an der Med.Poliklinik München war ich als Famulus tätig.

Das Staatsexamen habe ich am 15.12.1961 in München bestanden.

